

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Penelitian kali ini, akan dihasilkan sebuah model sistem kontrol integrasi dari sistem *flow control valve* (FCV) dan sistem *electronic load controller* (ELC). Pemodelan ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik masing-masing sistem baik sebelum diintegrasikan maupun sesudah diintegrasikan, sehingga pada saat simulasi sistem kontrol kita dapat membandingkan respon frekuensi ketika ada pengurangan beban dan nilai harmonisa dengan *display total harmonic distortion* (THD).

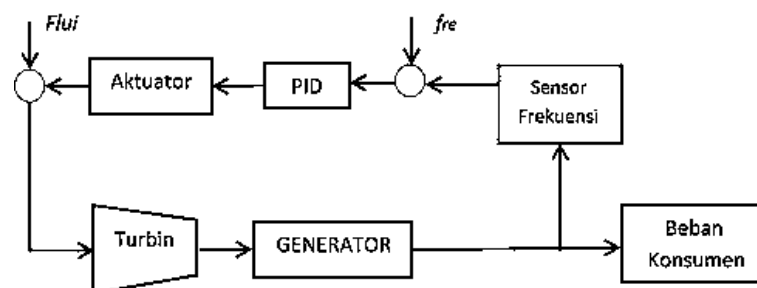
Pembuatan pemodelan dalam mensimulasikan sistem digunakan perangkat lunak yaitu program Matlab R2014b. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 3.1. Pemodelan Sistem FCV (*Flow Control Valve*)

Untuk membuat pemodelan dan mensimulasikan FCV dibutuhkan perangkat lunak yaitu Matlab R2014b. Berikut ini adalah beberapa model yang dibutuhkan untuk membuat dan mensimulasi FCV antara lain:

- a. Model turbin hidrolik
- b. Model *hydro-electric servo system* sebagai *actuator*.
- c. Model perancangan kontroller PID

Berikut ini diagram blok model FCV pada PLTMH.

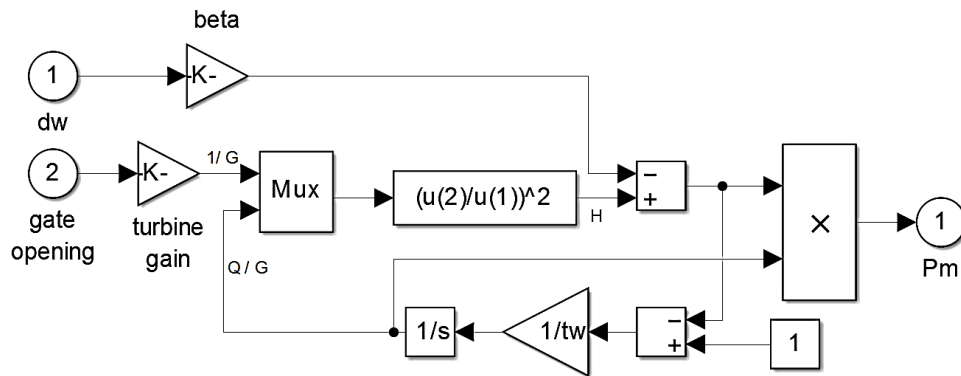


Gambar 3.1 Diagram blok FCV.

Tinjauan ekstensif dari pemodelan pembangkit listrik tenaga air dengan bantuan model turbin hidrolik dan sistem eksitasi yang dirancang oleh IEEE *work group* (1992), dan tersedia pada Matlab simulasi perangkat lunak dan di situs *MathWorks*, blok *hydraulic turbine and governor* mengimplementasikan model *nonlinear* hidrolik turbin, sistem *governor*, dan *hydro-electric servo system*.

### 3.1.1 Model turbin hidrolik

Turbin merupakan bagian penting dari sistem pembangkit listrik mikro hidro yang menerima energi potensial dari air dan mengubahnya menjadi energi putaran (mekanik), kemudian energi mekanik ini akan memutar sumbu turbin pada generator. Berikut ini adalah gambar model turbin hidrolik.



Gambar 3.2 Model turbin hidrolik

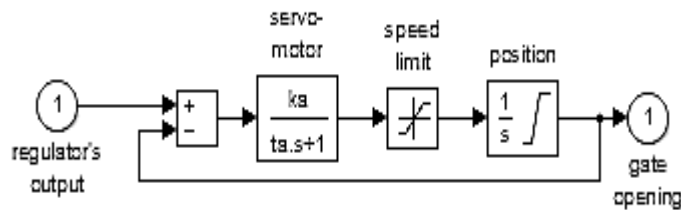
Adapun data parameter yang digunakan pada turbin hidrolik sebagai berikut.

Tabel 3.1 Parameter turbin hidrolik.

Parameter	Value
<i>Turbine Flow</i>	0.95 m <sup>3</sup> /s
<i>Head base</i>	16.74 m
<i>Penstock Area</i>	0.384 m <sup>2</sup>
<i>Length Penstock</i>	60 m
Gravitasi	9.8 m/s <sup>2</sup>
[ Gmax, Gmin, beta ]	[ 1, 0, 0 ] (pu)

### 3.1.2 Model *hydro-electric servo system*

Dalam model FCV *motor servo* digunakan untuk mengontrol katup gerbang sesuai dengan sinyal dari *controller* untuk mengatur aliran kecepatan air sehingga selalu berada pada nilai *setpoint*. Berikut ini adalah gambar model *hydro-electric servo system*



Gambar 3.3 Model *hydro-electric servo system*.

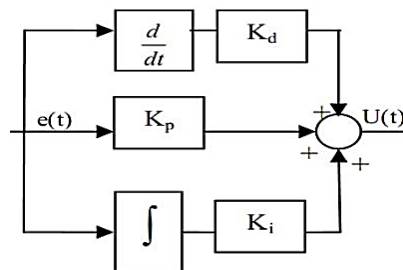
Adapun data parameter yang digunakan *hydro-electric servo system* adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Parameter *hydro-electric servo system*

Parameter	Value
Gain constant motor servo	10
Time constant motor servo	0.001
[ Vgmin, Vgmax ]	[ -0.1, 0.1 ]

### 3.1.3 Model perancangan kontrol PID sistem FCV

Berikut adalah model perancangan sistem kontrol PID pada sistem FCV yang digunakan.



Gambar 3.4 Model perancangan kontrol PID

$$\theta(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(3-1)$$

Persamaan kontrol PID diatas dapat mengurangi efek kesalahan *steady-state* pada sistem, di sisi lain nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  menentukan stabilitas dan respon *transien*, dimana, nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  ditentukan menurut refrensi *IEEE Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies, "Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for Dynamic Studies," IEEE® Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, February, 1992, pp. 167-179.* Adalah sebagai berikut:

$$R_t = \frac{1}{K_p} = \frac{0.625 T_w}{H} \dots\dots\dots(3-2)$$

$$T_r = \frac{K_p}{K_i} = 3.33 T_w \dots\dots\dots(3-3)$$

$$\frac{K_p}{K_d} > \frac{3}{T_w} \dots\dots\dots(3-4)$$

Dimana

$$R_t = \frac{T_w}{H} * (1.15 - (T_w - 1)0.075) \dots\dots\dots(3-5)$$

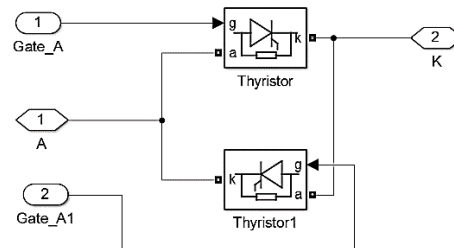
$$T_R = T_w * (5 - (T_w - 1)0.5) \dots\dots\dots(3-6)$$

FCV adalah bagian utama dari pembangkit listrik tenaga air, hal ini pada dasarnya digunakan untuk dua tujuan yaitu pertama, membangkitkan tenaga mesin di poros generator untuk produksi listrik. Dan kedua, mengendalikan variasi kecepatan generator sehingga frekuensi yang dihasilkan tetap konstan. *PID controller, hydro-electric servo system* dan turbin hidrolis adalah komponen utama dari FCV. Pemodelan matematika dan blok sistem telah dilakukan sebelumnya, selanjutnya model blok ini dihubungkan sedemikian rupa sehingga frekuensi yang dihasilkan tetap konstan. diagram blok dari FCV ditunjukkan pada Gambar 3.5 elemen pertama dari FCV adalah kontroler PID, eror dari frekuensi dimasukkan sebagai *input* ke *controller*, dan kemudian menghasilkan sinyal untuk masukan *hydro-electric servo system*. Selanjutnya respon *motor servo* dengan mengendalikan katup sesuai sinyal input pada mekanisme *servo*.



### 3.2.1 Model AC Regulator

Untuk model *ac regulator* yang digunakan adalah *thyristor* yang di hubungkan secara paralel membentuk sebuah *triac*, seperti pada gambar dibawah ini



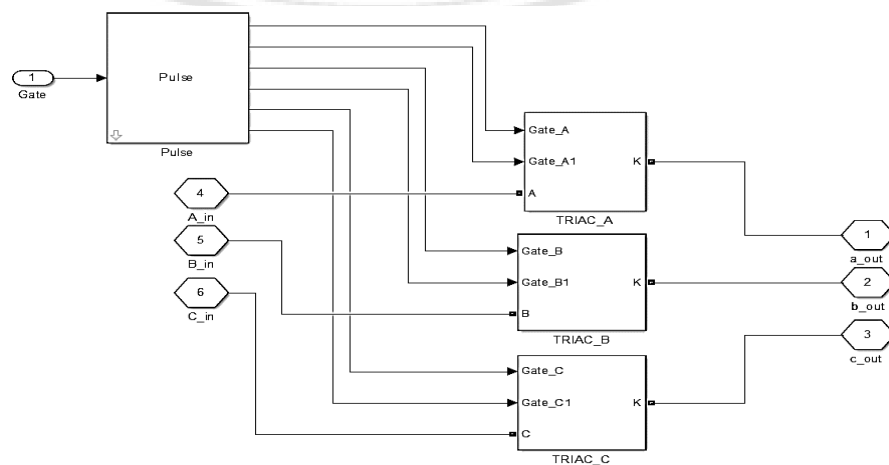
Gambar 3.7 Model TRIAC pada program Matlab.

Sedangkan parameter yang dimiliki *thyristor* adalah sebagai berikut

Tabel 3.3 Parameter *thyristor*.

Parameter	Value
Resistance $R_{on}$ (ohms)	0.001
Inductance $L_{on}$ (H)	0
Forward voltage $V_f$ (V)	0.8
Initial current $I_c$ (A)	0
Snubber resistance $R_s$ (ohms)	1e6
Snubber capacitance $C_s$ (F)	inf

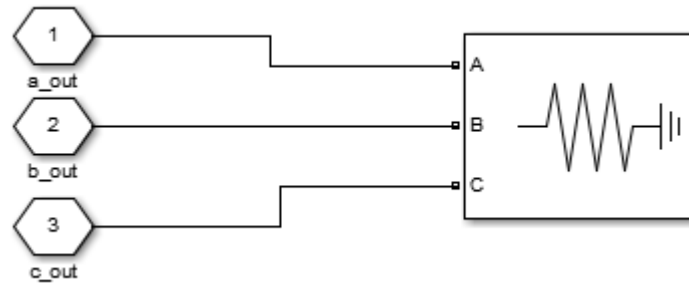
dan berikut ini adalah gambar saklar eletronik yang di rangkai *ac regulator bidirectional* tiga fasa



Gambar 3.8 Model *ac regulator* 3 phase.

### 3.2.2 Model Beban Komplemen

Beban komplemen yang digunakan adalah beban jenis resistif yang di rangkai bintang (Y) dengan kemampuan menyerap daya sebesar 180 KW yang dihubungkan dengan *output triac*.



Gambar 3.9 Model beban komplemen.

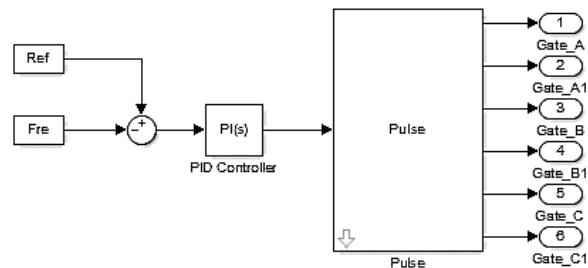
adapun parameter pada beban komplemen sebagai berikut

Tabel 3.4 Parameter beban komplemen.

Parameter	Value
<i>Configuration</i>	Y (grounded)
<i>Nominal Phase-to-phase voltage Vn (Vrms)</i>	400
<i>Nominal frequency fn (Hz)</i>	50
<i>Active Power P (W)</i>	180e3
<i>Inductive reactive power Ql (var)</i>	0
<i>Capacitive reactive power Qc (var)</i>	0

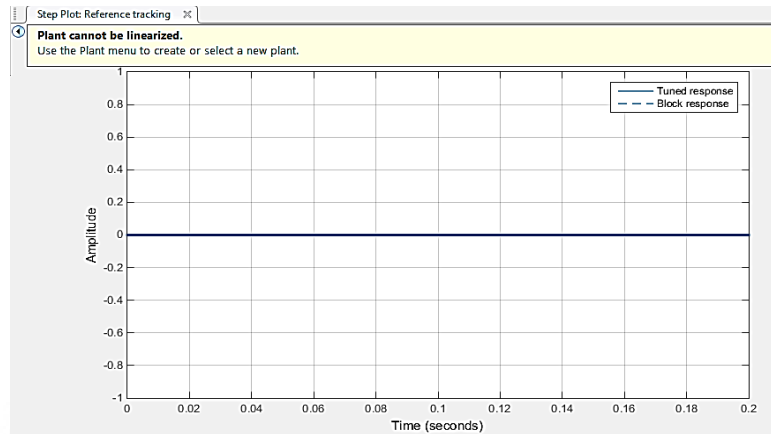
### 3.2.3 Model perancangan kontroller PI

Model perancangan kontroller PI menggunakan blok *PI tuner* pada Matlab R2014b. Seperti gambar di bawah ini.



Gambar. 3.10 Diagram blok kontrol PI

Pada dialog blok PI *tuner* untuk mengendalikan frekuensi agar tetap stabil, tetapi pemodelan pada gambar diatas menunjukkan bahwa model tidak dapat linierisasi dan kembali sistem awal.



Gambar. 3.11 Hasil gelombang model yang tidak dapat linierisasi

PI *tuner* memberikan beberapa alternatif ketika linierisasi gagal. Diantaranya adalah

a. *Import*

Gunakan opsi ini untuk mengimpor model linear dari MATLAB *workspace*.

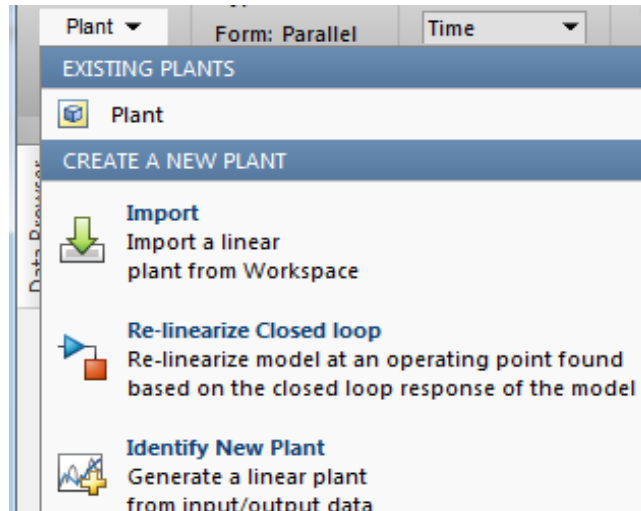
b. *Re-linearize close loop*

Gunakan opsi ini untuk *linearize* model dengan simulasi *snapshot*.

c. *Identify new plant.*

Gunakan opsi ini untuk menggunakan data yang diukur untuk mengidentifikasi model *plant*.





Gambar. 3.12 *Plant menu PI tuner*

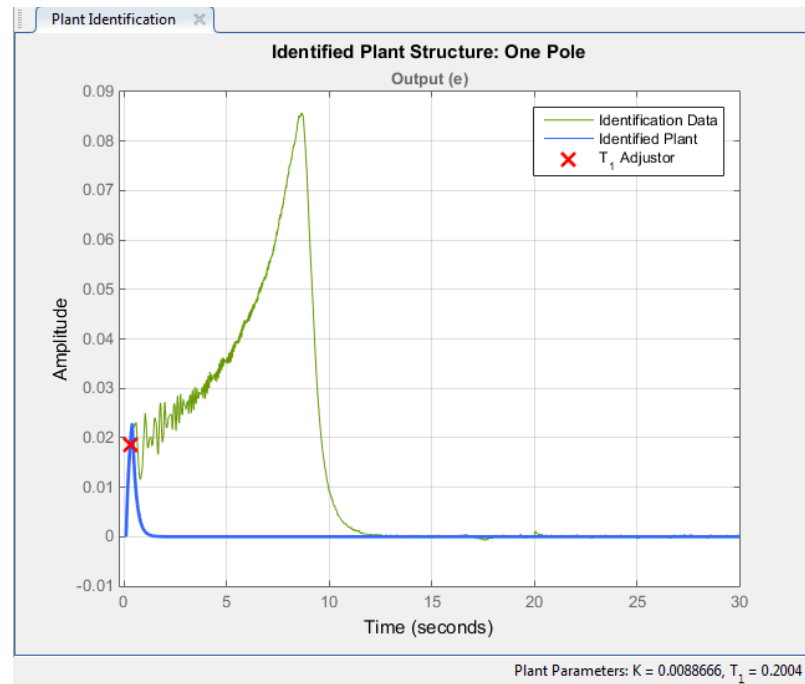
menggunakan data I / O untuk menjalankan alat yang mensimulasikan model untuk mengumpulkan data yang digunakan untuk mengidentifikasi *plant*

sinyal yang dihasilkan pada titik di mana *input* PI digunakan untuk menjadi masukan. Data ini kemudian menjelaskan respon dari *plant* dilihat oleh *controller*. *PI tuner* menggunakan data respon ini untuk memperkirakan model *plant linear*.

### Identifikasi Plant

Data yang dihasilkan oleh simulasi model digunakan untuk mengidentifikasi model *plant*, dan kemudian menyetel parameter *plant* sehingga respon *plant* dapat diidentifikasi ketika diberikan parameter *input* yang sesuai dengan *output* yang diinginkan.

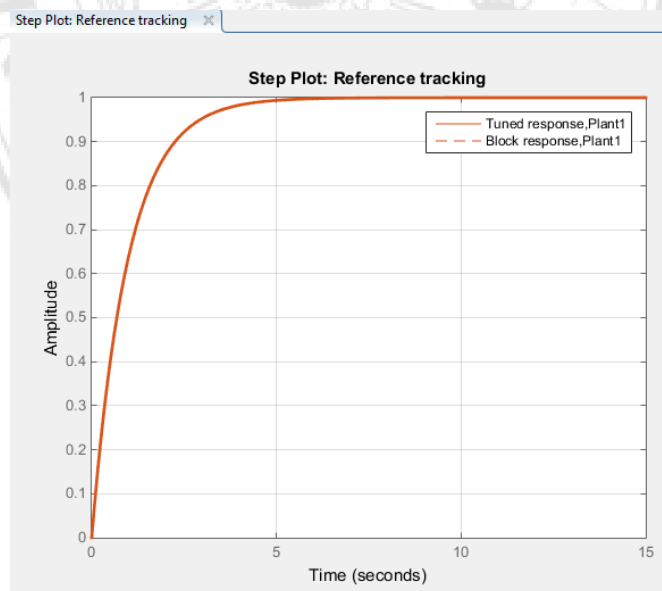
Kemudian melakukan secara otomatis dengan estimasi untuk menyesuaikan identifikasi respon *plant* sehingga kecocokan data identifikasi semaksimal mungkin dengan menggunakan strukture identifacation *one pole* atau sistem order pertama.



Gambar 3.13 Identifikasi respon model *plant* dengan struktur *one pole*

### Kontrol Tuning

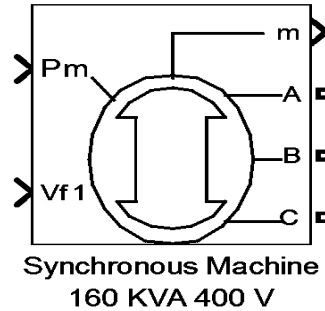
PI *tuner* secara otomatis menyetel PI *controller* untuk *plant* diidentifikasi. respon kontrol disetel sesuai performa yang diinginkan.



Gambar 3.14 Gelombang hasil identifikasi *new plant*

### 3.3. Pemodelan Generator Sinkon.

Generator yang digunakan dalam analisa ini adalah generator sinkron 3 fasa dengan model dan parameter sebagai berikut:



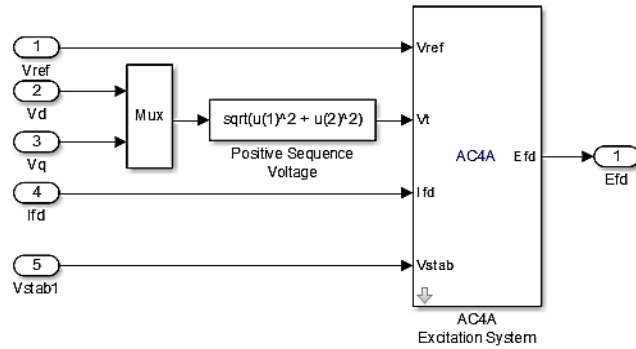
Gambar. 3.15 Model generator sinkron.

Tabel 3.5 Parameter generator sinkron.

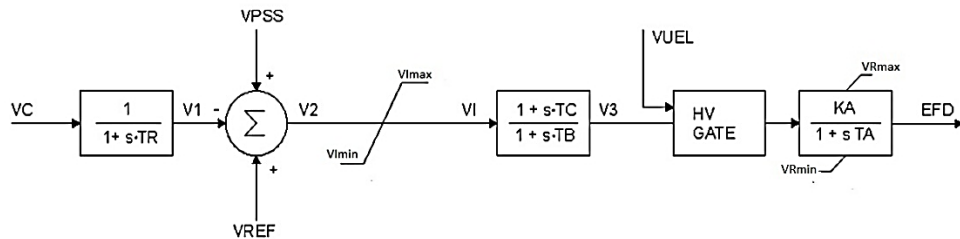
<i>Parameter</i>	<i>Value</i>
<i>Nominal power (VA), line-to-line voltage (V), frequency (Hz)</i>	160e3 , 400, 50
<i>Reactance (<math>X_d</math>, <math>X_d'</math>, <math>X_d''</math>, <math>X_q</math>, <math>X_q'</math>, <math>X_l</math>) (pu)</i>	[ 2.24, 0.19, 0.13, 1.38, 0.17, 0.07 ]
<i>Time Constants [<math>T_d'</math>, <math>T_d''</math>, <math>T_q''</math>] (s)</i>	[ 0.035, 0.011, 0.011 ]
<i>Stator Resistance (pu)</i>	0.024
<i>Inertia coefficient (s), friction factor (pu), pole pairs</i>	[4 0 2]
<i>Rotor Type</i>	<i>Salient-Pole</i>

### 3.4. Pemodelan Eksitasi.

Tinjauan untuk pemodelan eksitasi yang dirancang oleh IEEE work group pada refrensi “IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies.” IEEE Standard, Vol. 421, No. 5, 2005 (Revision of IEEE 521.5-1992)”, dan tersedia pada Matlab simulasi perangkat lunak dan di situs MathWorks dengan type eksitasi AC4A. Berikut ini adalah gambar blok dan model eksitasi type AC4A.



Gambar. 3.16 Blok sistem eksitasi.



Gambar 3.17 Model sistem eksitasi.

Adapun data sampel untuk sistem eksitasi type AC4A berdasarkan *IEEE Standard, Vol. 421, No. 5, 2005 (Revision of IEEE 521.5-1992)* adalah sebagai berikut.

Tabel 3.6 Parameter sistem eksitasi.

Parameter	Value
Tr (s)	0
[ Ka(pu) ,Ta(s)]	[ 200 , 0.015]
[ Kc(pu) ,Tc(s) ]	[ 0 , 1 ]
Tb(s)	10
[ Vimax, Vimin ](pu)	[ 10 , -10 ]
[ Vrmax, Vrmin ](pu)	[ 5.64 , -4.53 ]